·论著·

最大脂肪氧化强度运动可改善超重或肥胖人群身体成分、心肺耐力和脂质代谢：一项 Meta 分析

卢冬磊[1，2]，谭思洁[1*]，杨风英[3*]

1.301617 天津市体卫融合与健康促进重点实验室
2.301617 天津市，天津体育学院运动训练学院
3.250102 山东省济南市，山东体育学院运动与健康学院
*通信作者：谭思洁，教授，博士生导师；E-mail：tansijie2003@126.com
杨风英，副教授，硕士生导师；E-mail：13920960993@163.com

【摘要】 **背景** 研究证实，超重或肥胖人群体质（体成分、心肺耐力、脂质代谢）与肥胖密切相关，并可能存在双向关联。FATmax 强度运动作为一种新型运动干预手段，可有效促进体质改善，但改善效果的量化关系需要进一步探讨。**目的** 系统评价 FATmax 强度运动对超重或肥胖人群体质相关指标的干预效果。**方法** 检索 PubmMed、Web of science、EBSCO、中国知网、维普网、万方数据知识服务平台，检索 FATmax 强度运动对超重或肥胖患者身体成分、心肺耐力、脂质代谢相关指标干预效果的随机对照试验，检索时间为 2001 年 1 月—2024 年 1 月。基于 Cochrane 风险偏倚评估工具评估纳入文献的质量，Meta 分析由 RevMan5.4 软件完成。**结果** 共纳入 16 项随机对照试验，包含 568 例超重或肥胖患者。Meta 分析结果显示，与对照组相比，FATmax 强度运动干预组身体成分［体质量指数（BMI）：*WMD*=-1.82，*P*<0.01；体脂百分比（BFR）：*WMD*=-2.86，*P*<0.01；腰臀比（WHR）：*WMD*=-0.04，*P*<0.01）］、心肺耐力［最大摄氧量（VO_{2max}）：*WMD*=3.34，*P*<0.01）］，除总胆固醇（TC）外脂质代谢状况［三酰甘油（TG）：*WMD*=-0.24，*P*<0.01；高密度脂蛋白胆固醇（HDL-C）：*WMD*=0.14，*P*<0.01；低密度脂蛋白胆固醇（LDL-C）：*WMD*=-0.27，*P*<0.01）］显著改善。**结论** FATmax 强度运动可显著改善超重肥胖患者 BMI、BFR、WHR、VO_{2max}、TG、HDL-C、LDL-C 结局指标，但对 TC 并无改善作用。经亚组分析得出最佳干预方案为：干预周期≥ 12 周，3~5 次 / 周的训练，60 min/ 次的跑步，以优化身体成分；而提升 VO_{2max} 的最佳方案为 5 次 / 周、<60 min/ 次的组合运动。在脂质代谢方面，对 TG 的改善最佳方案为 3 次 / 周、60 min/ 次的跑步；而对 HDL-C 的最佳改善效果出现在 4 次 / 周、60 min/ 次的组合运动；对 LDL-C 则是 4 次 / 周、>60 min/ 次的组合运动。

【关键词】 最大脂肪氧化强度；超重；肥胖；身体成分；心肺耐力；血脂
【中图分类号】 R 589.25 R 459.9【文献标识码】 A DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2024.0108

The Improvement of Maximal Fat Oxidation Intensity on Body Composition，Cardiopulmonary Function，and Lipid Metabolism in Overweight or Obese Individuals：A Meta-Analysis

LU Donglei[1，2]，*TAN Sijie*[1*]，*YANG Fengying*[3*]
1.Tianjin Key Lab for Sports，Health Integration & Promotion，Tianjin 301617，China
2.College of Sports Training，Tianjin University of Sport，Tianjin 301617，China
3.College of Sports and Health，Shandong Sport University，Jinan 250102，Shandong China
**Corresponding authors：TAN Sijie，professor，Doctoral supervisor；E-mail：tansijie2003@126.com*
YANG Fengying，associate professor，Doctoral supervisor；E-mail：13920960993@163.com

【Abstract】 **Background** Research has linked the physical constitution of overweight/obese individuals to obesity，with a potential bidirectional association. Although FATmax intensity exercise can boost their fitness，the exact magnitude of

基金项目：山东省社会科学规划研究（22CTYJ14）
引用本文：卢冬磊，谭思洁，杨风英.最大脂肪氧化强度运动可改善超重或肥胖人群身体成分、心肺耐力和脂质代谢：一项 Meta 分析［J］.中国全科医学，2024.［Epub ahead of print］. DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2024.0108.［www.chinagp.net］
LU D L，TAN S J，YANG F Y.The improvement of maximal fat oxidation intensity on body composition，cardiopulmonary function，and lipid metabolism in overweight or obese individuals：a meta-analysis ［J］. Chinese General Practice，2024.［Epub ahead of print］.
© Editorial Office of Chinese General Practice. This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license.

this benefit needs further study. **Objective** Systematic evaluation is needed to assess the impact of FATmax intensity exercise on physical fitness indicators among overweight or obese populations. **Methods** Retrieve RCTs from PubMed, Web of Science, Ebsco, CNKI, VIP, Wanfang（January 2001 to January 2024） on FATmax exercise effects on body composition, cardiovascular endurance, lipid metabolism in overweight/obese patients. Evaluate quality with Cochrane tool, Meta-analyze with RevMan5.4.**Results** A total of 16 randomized controlled trials were included, including 568 overweight or obese patients. The Meta-analysis results showed that compared with the control group, the FATmax intensity exercise intervention group significantly improved body composition（BMI：*WMD*=-1.82，*P*<0.01；BFR：*WMD*=-2.86，*P*<0.01；WHR：*WMD*=-0.04，*P*<0.01），cardiovascular endurance（VO_{2max}：*WMD*=3.34，*P*<0.01），and lipid metabolism except for TC（TG：*WMD*=-0.24，*P*<0.01；HDL-C：*WMD*=0.14，*P*<0.01；LDL-C：*WMD*=-0.27，*P*<0.01）. **Conclusion** FATmax exercise benefits body composition, cardiovascular endurance, and lipid metabolism（except TC）in overweight/obese patients. Optimal results vary：≥ 12 weeks, 3-5 times/week, 60-minute running for body composition；≥ 12 weeks, 5 times/week, <60 minutes combined for VO_{2max}；≥ 12 weeks, 3 times/week, 60-minute running for TG；<12 weeks, 4 times/week, 60-minute combined for HDL-C；<12 weeks, 4 times/week, >60-minute combined for LDL-C.

【**Key words**】 Maximum fat oxidation intensity；Overweight；Obesity；Body composition；Cardiopulmonary endurance；Blood fat

超重或肥胖定义为机体总脂肪过量或局部脂肪异常积累,是一种由环境与遗传因素引发的慢性代谢疾病[1]。由于国民经济水平的提高及不良生活方式的改变，超重或肥胖的患病率持续上升，并呈快速蔓延趋势[2-3]，预计到 2030 年全球肥胖人数将达 11.2 亿。超重或肥胖人群不仅伴有心肺能力的下降[4]，而且容易引发动脉粥样硬化[5]、2 型糖尿病[6]、继发性高血压[7]、心肺功能衰弱[8]等疾病。此外，肥胖的严重程度与死亡率间存在相关性[9]，给家庭、社会及卫生医疗保健系统带来沉重负担[10]。研究证实，运动是解决超重或肥胖问题的有效手段。目前，有氧运动已成为超重或肥胖人群改善肥胖程度和体质健康水平的主要途径之一，而科学合理地选择有氧运动的强度是影响超重或肥胖人群运动效果提升的关键因素之一[11]。最大脂肪氧化强度（FATmax）是指单位时间内达到脂肪代谢峰值对应的强度。理论上，在 FATmax 强度下进行运动，人体脂肪代谢分解效率最大。FATmax 强度运动作为一种中低强度的有氧运动形式，相比传统的有氧运动可以更有效地改善心肺功能，提高脂质代谢能力，并能降低超重或肥胖成人的体重及体脂率，已广泛应用在大众健身和慢病防治领域。然而，FATmax 强度运动对于超重或肥胖患者体质的改善效果尚未统一。有研究显示其并不能显著改善体质所有结局指标[12]，且对心肺功能和脂质代谢的改善证据有限。因此，需对现有相关研究进行系统评价并通过开展高质量研究进行验证。此外，已有国外学者围绕该课题进行系统性评价。CHÁVEZ 等[12]系统评价了 FATmax 强度运动对超重或肥胖患者体重、脂肪量、腰围等的影响，遗憾的是，该研究仅对体质量、脂肪量、腰围单一指标进行研究分析，并未对其指标进行身高、体重及个体差异情况的校准，可能会影响证据质量的可靠性；同时，该研究未考虑 FATmax 强度运动对于脂质代谢的影响，导致对结局指标的评价不够全面。因此，本研究设定了严格的纳入标准，限定仅包括随机对照试验，全面评价 FATmax 强度运动对超重或肥胖患者身体成分、心肺耐力和脂质代谢指标的影响，并分析总结了各结局指标的最佳 FATmax 强度运动干预方案，旨在为该类运动的临床应用提供循证医学依据。

1 资料与方法

本研究 PROSPERO 注册号：CRD42024527680。

1.1 文献检索策略

本文遵循系统综述和 Meta 分析的首选项原则，计算机检索数据库中国知网、维普网、万方数据知识服务平台、Web of Science、PubMed 和 EBSCO。检索时限为 2001 年 1 月—2024 年 1 月。英文检索词主要包括 FATmax、lipoxmax、maximal fat oxidation、peak of fat oxidation、physical training、physical exercise、body fat、fat mass、VO_{2max}、lipid metabolism、overweight、obesity。中文检索词包括最大脂肪氧化强度、FATmax 强度运动、肥胖、超重、心肺耐力、脂质、脂肪。此外，本文还回溯性地纳入了引用研究的参考文献，以便搜集更多相关资料。

1.2 纳入与排除标准

1.2.1 纳入标准：（1）研究类型为随机对照试验；（2）干预对象：BMI>25 kg/m^2 的超重或肥胖患者。参与者在进入研究前 12 个月内未有任何药物滥用记录。试验组与对照组在基线数据上，包括年龄、性别比例和体测指标等方面均保持一致性，以确保结果的可比较性；（3）干预措施：对照组接受常规康复训练、安慰剂或空白对照；实验组在对照组的基础上进行 FATmax 强度运动干预；（4）结局指标：BMI、体脂百分比（body fat

ratio，BFR）、腰臀比（waist-to-hip ratio，WHR）、最大摄氧量（maximal oxygen consumption，VO_{2max}）、总胆固醇（total cholesterol，TC）、三酰甘油（triglyceride，TG）、高密度脂蛋白胆固醇（high density lipoprotein-cholesterol，HDL-C）、低密度脂蛋白胆固醇（low density lipoprotein-cholesterol，LDL-C）。

1.2.2　排除标准：（1）患有严重疾病等身体状况不适合进行 FATmax 强度运动的受试者；（2）未描述具体干预方案的文献；（3）低质量文献；（4）综述文章、会议报告和 Meta 分析；（5）研究类型为非随机对照实验。

1.3　数据提取

由 2 位研究者通过独立双盲审查法筛选并提取研究数据。初步通过文献标题和摘要排除无关研究，继而根据既定的纳入和排除标准深入分析全文。如出现分歧，由第 3 名研究者介入以确保评估的客观性和准确性。从选定的研究中提取以下数据：第一作者姓名、出版年份、研究设计、样本数量、干预措施、训练频率、训练持续周期以及相关的结局指标，包括体成分、心肺耐力及脂质代谢。

如果文中没有明确给出纳入各指标的标准差，则采用以下公式计算：

$$\sqrt{SD_{pre}^2+SD_{post}^2-2\times Corr(pre,\ post)\times SD_{pre}\times SD_{post}}$$

SD_{pre} 为干预前的标准差，SD_{post} 为干预后的标准差，$Corr(pre,post)$ 为参与者内相关系数，若未报告相关性，则默认参与者内部相关系数为 0.5。

1.4　文献质量评估

由 2 位研究者运用 RevMan 5.4 中的 Cochrane 风险偏倚评估工具，对包含的文献进行系统评估。此评估覆盖随机分配过程、分配方案的隐蔽性、盲法实施情况、数据完整性、选择性结果报告和其他潜在风险因素。基于这些标准，文献被赋予高、低或不明确的质量评级。若 2 位研究者评估结果不一致，则由第 3 位研究者参与判定。

1.5　统计学分析

Meta 分析由 RevMan5.4 软件完成。本文所纳入文献结局指标均为连续性变量数据，由于各指标测量单位和测量方法相同，因此选用 WMD 作为效应指标，并计算 95CI%。结局异质性由 P 值和 I^2 值检验，若 $P>0.1$ 及 $I^2<50\%$ 表明纳入研究异质性较低，采用固定效应模型，否则采用随机效应模型，通过采用亚组分析或敏感性分析探查异质性来源。统计学显著性差异定义为 $P<0.05$。当纳入文献样本量少于 10 时，因样本量小和检验效能过低，不进行发表偏倚检验。

2　结果

2.1　文献筛选流程及结果

共检索相关文献 538 篇，其中 136 篇为中文文献，402 篇为英文文献。经纳入、排除标准筛查，最终纳入 16 篇文献[13-28]，筛选流程详见图 1。

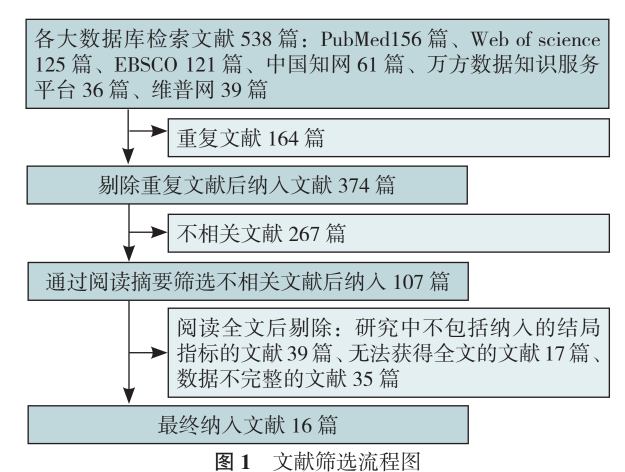


图 1　文献筛选流程图

Figure 1　Literature Selection Process

2.2　纳入文献基本信息

经筛查后 16 篇文献纳入 Meta 分析，其基本信息见附录 A（具体内容请扫描首页二维码）。

2.3　文献方法学质量评价结果

2 位研究者采用 Cochrane 风险偏倚评估工具从 7 个维度对纳入的 16 篇文献进行偏倚风险评价。鉴于研究涉及的运动干预特性，研究者需要向实验组参与者详细传达干预方案的内容、目的、潜在风险以及相关注意事项，并确保收集书面知情同意，实现双盲设置并不可行，因此在双盲性评价上纳入研究均被记为“不清楚”。评估结果详见图 2、3。

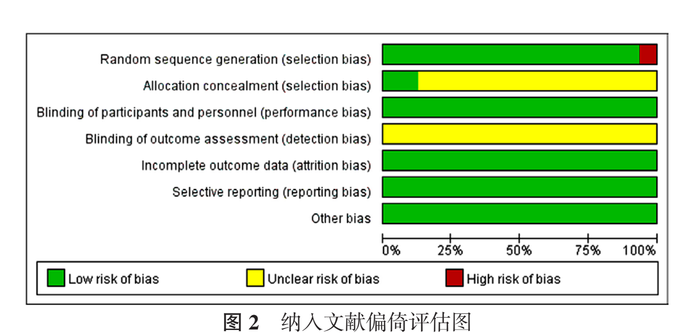


图 2　纳入文献偏倚评估图

Figure 2　Assessment of bias in included literature

图 3 纳入文献偏倚总结图
Figure 3 Summary chart of bias in the included literature

2.4 Meta 分析结果

2.4.1 身体成分。（1）BMI：15 项随机对照试验［13-23，25-28］的结局指标中包括 BMI，包含样本 534 例。经异质性检验，I^2=0%，P=0.99，选择固定效应模型分析，与对照组相比，FATmax 强度运动对与超重或肥胖患者 BMI 的降低有显著性效果（WMD=−1.82，95%CI=−2.06~−1.58；P<0.001），见图 4。

Study or Subgroup	FATmax干预组 Mean	SD	Total	对照组 Mean	SD	Total	Weight	Mean Difference IV, Fixed, 95% CI
Cao 2019	-1.8	2.72	13	0.7	1.78	15	2.0%	-2.50 [-4.23, -0.77]
Elloumi 2010	-4.4	3.35	7	-2.7	2.79	7	0.6%	-1.70 [-4.93, 1.53]
Jiang 2020	-0.4	2.15	11	0.6	3.1	13	1.3%	-1.00 [-3.11, 1.11]
Ounis 2008（a）	-3.9	4.21	8	-2.9	2.6	8	0.5%	-1.00 [-4.43, 2.43]
Ounis 2008（b）	-2.3	1.95	6	-1.9	2.15	6	1.1%	-0.40 [-2.72, 1.92]
Picó 2022	-0.9	5.71	10	-0.3	5.47	10	0.2%	-0.60 [-5.50, 4.30]
Tan 2012	-1.59	1.96	29	0.11	2.03	19	4.4%	-1.70 [-2.86, -0.54]
Tan 2015	-1.2	2.05	15	0.7	1.55	11	3.1%	-1.90 [-3.28, -0.52]
Tan 2016	-1.23	5.36	11	-0.2	3.95	8	0.3%	-1.03 [-5.22, 3.16]
Tan 2018	-0.9	3.05	16	0	3.25	15	1.2%	-0.90 [-3.12, 1.32]
Yang 2023	-3.2	3.4	27	-0.8	5.27	27	1.1%	-2.40 [-4.77, -0.03]
肖哲 2022	-1.42	2.09	22	0.31	1.9	22	4.2%	-1.73 [-2.91, -0.55]
郭振 2021	-2.27	0.79	60	-0.42	0.76	60	76.4%	-1.85 [-2.13, -1.57]
陈乐琴 2018	-2.1	2.44	23	0.37	2.85	23	2.5%	-2.47 [-4.00, -0.94]
黄传业 2018	-1.4	3.25	16	0	3.36	16	1.1%	-1.40 [-3.69, 0.89]
Total (95% CI)			**274**			**260**	**100.0%**	**-1.82 [-2.06, -1.58]**

Heterogeneity: Chi² = 5.04, df = 14 (P = 0.99); I² = 0%
Test for overall effect: Z = 14.71 (P < 0.00001)
-10 -5 0 5 10
Favours [experimental] Favours [control]

图 4 FATmax 强度运动组队超重或肥胖患者 BMI 影响的 Meta 分析森林图
Figure 4 Meta-analytic forest plot of the effect of BMI in overweight or obese patients in the FATmax intensity exercise cohort

BFR：13 项随机对照试验［13，15，18-28］的结局指标中包括 BFR，包括样本 271 例。经异质性检验，I^2=63%，P=0.001，采用随机效应模型分析，结果显示与对照组相比，FATmax 强度运动对与超重或肥胖患者 BFR 的降低有显著性效果（WMD=−2.86，95%CI=−3.94~−1.78，P<0.001），见图 5。该分析结果剔除 1 篇文献后，异质性显著降低，I^2=4%，P=0.40，采用固定效应模型。Meta 分析结果显示，WMD=−3.32，95%CI=−4.02~−2.61，P<0.001，表明剔除 ZENG 等［24］的异质性较高文献后，FATmax 强度运动提高了改善 BFR 的效果，见表 1。

Study or Subgroup	FATmax干预组 Mean	SD	Total	对照组 Mean	SD	Total	Weight	Mean Difference IV, Random, 95% CI
Cao 2019	-1.5	5.31	13	1.4	4.45	15	5.4%	-2.90 [-6.56, 0.76]
Jiang 2020	-2.8	7.89	11	0.3	6.52	13	2.8%	-3.10 [-8.96, 2.76]
Picó 2022	-1.1	2.03	10	0	2.45	10	9.8%	-1.10 [-3.07, 0.87]
Tan 2012	-3.32	5.32	29	-0.18	3.34	19	8.3%	-3.14 [-5.59, -0.69]
Tan 2015	-1.7	3.9	15	0.2	5.24	11	5.4%	-1.90 [-5.57, 1.77]
Tan 2016	-1.8	8.07	11	0.1	5.96	13	2.8%	-1.90 [-7.67, 3.87]
Tan 2018	-3.4	3.58	16	0.2	2.86	15	8.8%	-3.60 [-5.87, -1.33]
Yang 2023	-3.7	2.85	27	0.8	2.96	27	11.1%	-4.50 [-6.05, -2.95]
Zeng 2020	-7.42	1.1	18	-6.89	1.66	16	13.0%	-0.53 [-1.49, 0.43]
肖哲 2022	-2.56	4	22	0.65	4.31	22	8.3%	-3.21 [-5.67, -0.75]
郭振 2021	-5.52	6.82	60	0.22	7.91	60	7.7%	-5.74 [-8.38, -3.10]
陈乐琴 2018	-3.32	2.94	23	-0.07	2.73	23	10.8%	-3.25 [-4.89, -1.61]
黄传业 2018	-2.8	4.62	16	-0.3	5.37	16	5.8%	-2.50 [-5.97, 0.97]
Total (95% CI)			**271**			**260**	**100.0%**	**-2.86 [-3.94, -1.78]**

Heterogeneity: Tau² = 2.10; Chi² = 32.51, df = 12 (P = 0.001); I² = 63%
Test for overall effect: Z = 5.19 (P < 0.00001)
-10 -5 0 5 10
Favours [experimental] Favours [control]

图 5 FATmax 强度运动组队超重或肥胖患者 BFR 影响的 Meta 分析森林图
Figure 5 Meta-analytic forest plot of the effect of BFR in FATmax intensity exercise cohort of overweight or obese patients

WHR：6 项随机对照试验［14-15，18，19，22，26］的结局指标中包括 WHR，包含样本 133 例。经异质性检验，I^2=43%，P=0.001，选择固定效应模型分析，结果显示与对照组相比，FATmax 强度运动对与超重或肥胖患者 WHR 的降低有显著性效果（WMD=−0.04，95%CI=−0.06~−0.03，P<0.000 01），见图 6。

Study or Subgroup	FATmax干预组 Mean	SD	Total	对照组 Mean	SD	Total	Weight	Mean Difference IV, Fixed, 95% CI
Elloumi 2010	-0.08	0.04	7	0.02	0.05	7	8.6%	-0.10 [-0.15, -0.05]
Jiang 2020	-0.04	0.08	11	0.03	0.07	13	5.3%	-0.07 [-0.13, -0.01]
Picó 2022	0	0.1	10	0	0.1	10	2.5%	0.00 [-0.09, 0.09]
Tan 2012	-0.03	0.04	29	0	0.05	19	27.0%	-0.03 [-0.06, -0.00]
Tan 2018	-0.02	0.08	16	0	0.07	15	6.9%	-0.02 [-0.07, 0.03]
郭振 2021	-0.03	0.05	60	0.01	0.06	60	49.6%	-0.04 [-0.06, -0.02]
Total (95% CI)			**133**			**124**	**100.0%**	**-0.04 [-0.06, -0.03]**

Heterogeneity: Chi² = 8.92, df = 5 (P = 0.11); I² = 44%
Test for overall effect: Z = 5.86 (P < 0.00001)
-0.2 -0.1 0 0.1 0.2
Favours [experimental] Favours [control]

图 6 FATmax 强度运动组队超重或肥胖患者 WHR 影响的 Meta 分析森林图
Figure 6 Forest plot of Meta-analysis of the effect of WHR in FATmax intensity exercise cohort of overweight or obese patients

2.4.2 心肺耐力。6 项随机对照试验［13，19，21，26-28］的结局指标中包括 VO_{2max}，包含样本 152 例。经异质性检验，I^2=0，P=0.66，选择固定效应模型分析，结果显示与对照组相比，FATmax 强度运动对与超重或肥胖患者 VO_{2max} 的提高有显著性效果（WMD=3.34，95%CI=2.42~4.27，P<0.000 01），见图 7。

Study or Subgroup	FATmax干预组 Mean	SD	Total	对照组 Mean	SD	Total	Weight	Mean Difference IV, Fixed, 95% CI
Cao 2019	4.1	5.84	13	-0.6	6.5	15	4.1%	4.70 [0.13, 9.27]
Tan 2012	2.8	2.6	29	-0.2	3.12	19	29.9%	3.00 [1.31, 4.69]
Tan 2016	2.7	2.51	11	0.1	2.92	13	18.1%	2.60 [0.43, 4.77]
郭振 2021	3.57	3.73	60	-0.06	5.44	60	30.7%	3.63 [1.96, 5.30]
陈乐琴 2018	2.63	5.5	23	0.17	4.82	23	9.6%	2.46 [-0.53, 5.45]
黄传业 2018	6.6	4.7	16	0.9	5	16	7.6%	5.70 [2.34, 9.06]
Total (95% CI)			**152**			**146**	**100.0%**	**3.34 [2.42, 4.27]**

Heterogeneity: Chi² = 3.28, df = 5 (P = 0.66); I² = 0%
Test for overall effect: Z = 7.08 (P < 0.00001)
-10 -5 0 5 10
Favours [experimental] Favours [control]

图 7 FATmax 强度运动组队超重或肥胖患者 VO_{2max} 影响的 Meta 分析森林图
Figure 7 Meta-analytic forest plot of the effect of VO_{2max} in overweight or obese patients in the FATmax intensity exercise cohort

2.4.3 脂代谢。（1）TG：7 项随机对照试验［13，15-17，20，22，28］的结局指标中包括 TG，包含样本 85 例。经异质性检验，I^2=0，P=0.51，选择固定效应模型分析，结果显示与对照组相比，FATmax 强度运动对与超重或肥胖患者 TG 的降低有显著性效果（WMD=−0.24，95%CI=−0.35~−0.14，P<0.000 01），见图 8。

表 1 BFR 敏感性分析结果
Table 1 BFR Sensitivity Analysis Results

指标	剔除文献	纳入文献	患者数（n）	WMD 值（95%CI）	P 值	I^2 值	P 值异质性
BFR	［24］	［22-26，28，31-36，38］	253	−3.32（−4.02，−2.61）	<0.001	4%	0.40

注：BFR= 体脂百分比。

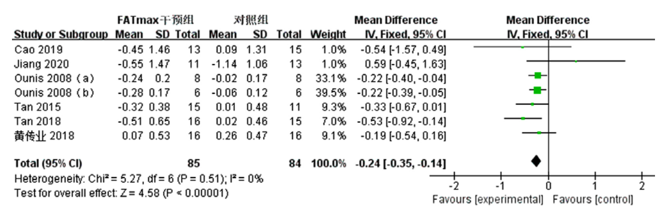


图 8 FATmax 强度运动组队超重或肥胖患者 TG 影响的 Meta 分析森林图

Figure 8 Meta-analytic forest plot of the effect of TG in overweight or obese patients in the FATmax intensity exercise cohort

（2）TC：7 项随机对照试验[13，15-17，20，22，28]的结局指标中包括 TC，包含样本 85 例。经异质性检验，I^2=0，P=0.51，选择固定效应模型分析，结果显示与对照组相比，FATmax 强度运动对与超重或肥胖患者 TC 的降低无显著性效果（WMD=-0.19，95%CI=-0.38~0.01，P=0.06），见图 9。

图 9 FATmax 强度运动组队超重或肥胖患者 TC 影响的 Meta 分析森林图

Figure 9 Meta-analytic forest plot of the effect of TC in overweight or obese patients in the FATmax intensity exercise cohort

（3）HDL-C：7 项随机对照试验[13，15-17，20，22，28]的结局指标中包括 HDL-C，包含样本 85 例。经异质性检验，I^2=0，P=0.46，选择固定效应模型分析，结果显示与对照组相比，FATmax 强度运动对与超重或肥胖患者 HDL-C 的增加有显著性效果（WMD=0.14，95%CI=0.09~0.20，P<0.000 01），见图 10。

图 10 FATmax 强度运动组队超重或肥胖患者 TC 影响的 Meta 分析森林图

Figure 10 Meta-analytic forest plot of the effect of TC in overweight or obese patients in the FATmax intensity exercise cohort

（4）LDL-C：6 项随机对照试验[13，15-17，22，28]的结局指标中包括 LDL-C，包含样本 70 例。经异质性检验，I^2=0，P=0.96，选择固定效应模型分析，结果显示与对照组相比，FATmax 强度运动对与超重或肥胖患者 LDL-C 的降低有显著性效果（WMD=-0.27，95%CI=-0.40~-0.14，P<0.000 01），见图 11。

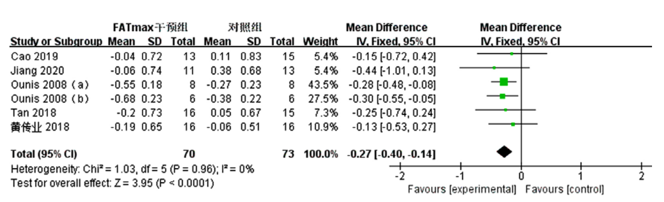


图 11 FATmax 强度运动组队超重或肥胖患者 LDL-C 影响的 Meta 分析森林图

Figure 11 Forest plot of Meta-analysis of the effect of LDL-C in FATmax intensity exercise cohort of overweight or obese patients

2.5 亚组分析

本研究分组依据干预周期（≥ 12 周、<12 周）、训练频率（3 次 / 周、4 次 / 周、5 次 / 周）、单次干预时长（>60 min、60 min、<60 min）及运动形式（跑步、组合运动）。

（1）干预周期：当干预持续时间 ≥ 12 周时，BMI、BFR、WHR、VO_{2max} 以及 TG 的改善效应显著优于 <12 周的干预。具体来说，BMI 的最大改善效应量为 -1.86（P<0.00001），BFR 为 -3.37（P<0.000 01），WHR 为 -0.04（P<0.001），VO_{2max} 为 3.80（P<0.001），TG 为 -0.31（P=0.002）。相对地，当干预周期 <12 周时，HDL-C 和 LDL-C 的改善效应较为显著，其中 HDL-C 的最佳效应量为 0.18（P<0.001），LDL-C 为 -0.29（P<0.000 4），见表 2。

（2）训练频率：每周训练 3 次时，BMI 的改善最为显著，效应量 WMD 为 -1.85（P<0.001）。而每周训练 5 次时，BFR、VO_{2max} 和 WHR 的改善效果最好，分别为 -3.99（P<0.001）、3.58（P<0.001）、-0.04（P<0.001）。TG 改善最显著的训练频率为 3 次 / 周，其效应量为 -0.37（P=0.003）。而 HDL-C 和 LDL-C 在每周 4 次训练时改善最为显著，效应量分别为为 0.18（P<0.001）和 -0.29（P<0.000 4），见表 2。

（3）单次干预时长：单次干预时长在 60 min 时，BMI、BFR、WHR、TG 的改善效应显著，效应量分别为 -1.85（P<0.001）、-3.70（P<0.001）、-0.05（P=0.000 5）和 -0.37（P=0.003）。VO_{2max} 的最大改善效应出现在单次干预时长 <60 min，为 5.70（P=0.000 9）。HDL-C 和 LDL-C 的改善在单次干预时长 >60 min 时最为显著，效应量分别为 0.18（P<0.001）和 -0.29（P=0.000 4），见表 2。

（4）运动形式：在运动形式的亚组分析中，跑步作为干预手段时，BMI、BFR、WHR、VO_{2max} 以及 TG 的改善效应均为最大。具体结果如下，跑步对 BMI 的改善效应量为 -1.83（P<0.000 01），BFR 为 -3.83（P<0.000 01），WHR 为 -0.04（P<0.000 01），VO_{2max} 为 3.23

（P<0.000 01），TG 为 −0.37（P=0.003）。而组合运动形式在 HDL-C 和 LDL-C 的改善上表现更佳，效应量分别为 0.16（P<0.000 1）和 −0.27（P=0.000 4），见表 2。

2.6　发表偏倚分析

本研究结局指标中仅 BMI、BFP 指标纳入研究超过 10 篇，因此采用漏斗图对以上 2 个结局指标进行发表偏倚检验。涉及 BMI 和 BFR 的研究结果多聚集在漏斗图的上部，并未在两侧对称分布（图 12、13），提示存在一定的发表偏倚。

3　讨论

肥胖是由体内脂肪过量积累引起的慢性代谢疾病，受遗传和环境因素影响[9]。我国成人肥胖率迅速增长，

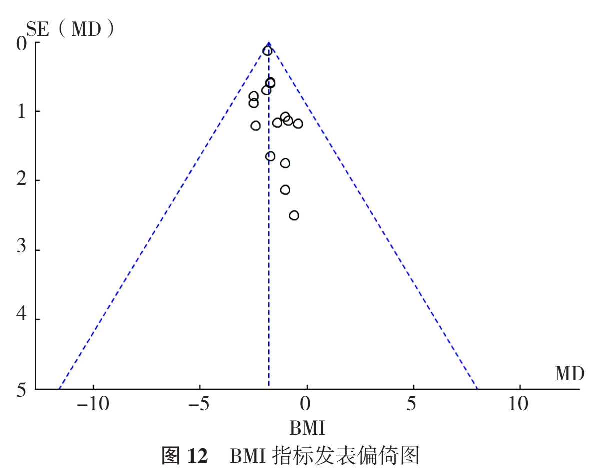


图 12　BMI 指标发表偏倚图

Figure 12　Graph of publication bias for BMI indicators

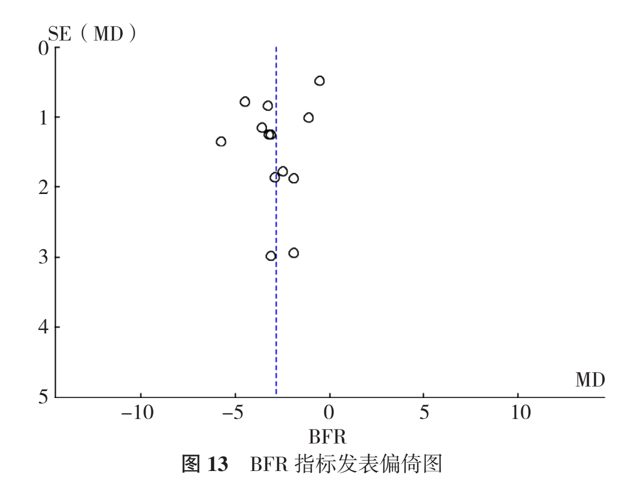


图 13　BFR 指标发表偏倚图

Figure 13　BFR indicator publication bias graph

表 2　各结局指标敏感性及亚组分析结果

Table 2　Sensitivity and subgroup analysis results of various outcome indicators

指标	影响因素	分组	研究数量（篇）	实验对象（例）	WMD 值（95%CI）	P 值	I^2 值（%）	P 值异质性
BMI	干预周期	⩾ 12 周	9	191	−1.86（−2.11~−1.60）	<0.001	0	0.93
		<12 周	6	83	−1.53（−2.26~−0.8）	<0.001	0	0.94
	训练频率	3 次 / 周	6	107	−1.85（−2.49~−1.22）	<0.001	0	0.77
		4 次 / 周	6	80	−1.55（−2.42~−0.67）	0.000 5	0	0.88
		5 次 / 周	3	87	−1.84（−2.11~−1.57）	<0.001	0	0.86
	单次干预时长	>60 min	4	31	−0.85（−2.42~0.71）	0.290	0	0.93
		60 min	10	227	−1.85（−2.10~−1.60）	<0.001	0	0.97
		<60	1	16	−1.40（−3.11~0.31）	0.110		
	运动形式	跑步	9	204	−1.83（−2.08~−1.58）	<0.001	0	0.97
		组合运动	6	70	−1.63（−2.61~−0.64）	0.001	0	0.77
BFR	干预周期	⩾ 12 周	9	191	−3.37（−4.15~−2.59）	0.0001	29	0.19
		<12 周	3	62	−3.07（−4.73~−1.41）	0.000 3	0	0.92
	训练频率	3 次 / 周	6	107	−3.16（−4.21~−2.11）	<0.001	0	0.99
		4 次 / 周	3	59	−2.99（−5.12~−0.85）	<0.001	72	0.03
		5 次 / 周	3	87	−3.99（−6.49~−1.50）	<0.01	29	0.24
	单次干预时长	>60 min	1	10	−1.10（−3.07~0.87）	0.270		
		60 min	10	227	−3.70（−4.47~−2.92）	<0.001	0	0.79
		<60	1	16	−2.50（−5.97~0.97）	0.160		
	运动形式	跑步	9	0%	−3.83（−4.71~−2.95）	<0.001	0	0.75
		组合运动	3	26%	−2.39（−3.57~−1.20）	<0.001	26	0.26
WHR	干预周期	⩾ 12 周	4	97	−0.04（−0.06~−0.02）	<0.001	0	0.65
		<12 周	2	36	−0.06（−0.13~0.01）	0.07	84	0.01
	训练频率	3 次 / 周	3	56	−0.03（−0.06~−0.01）	0.003	0	0.43

（续表 2）

指标	影响因素	分组	研究数量（篇）	实验对象（例）	WMD 值（95%*CI*）	*P* 值	I^2 值（%）	*P* 值异质性
		4 次 / 周	2	17	–0.06（–0.15~–0.04）	0.250	74	0.05
		5 次 / 周	1	60	–0.04（–0.06~–0.02）	<0.001		
	单次干预时长	>60 min	2	17	–0.02（–0.06~0.02）	0.310	0	0.58
		60 min	4	116	–0.05（–0.08~–0.02）	0.005	60	0.06
		<60						
	运动形式	跑步	4	116	–0.04（–0.05~–0.02）	<0.001	0	0.60
		组合运动	2	17	–0.06（–0.15~0.04）	0.250	74	0.05
VO_{2max}	干预周期	≥ 12 周	4	112	3.8（2.52~5.08）	<0.001	0	0.53
		<12 周	2	40	2.85（1.51~.18）	<0.001	0	0.78
	训练频率	3 次 / 周	3	65	3.04（1.64~4.44）	<0.001	0	0.72
		4 次 / 周						
		5 次 / 周	3	87	3.58（2.35~4.81）	<0.001	14	0.31
	单次干预时长	>60 min						
		60 min	5	136	3.28（2.21~4.36）	<0.001	0	0.74
		<60	1	16	5.70（2.34~9.06）	0.000 9		
	运动形式	跑步	4	113	3.23（2.21~4.25）	<0.001	0%	0.80
		组合运动	2	39	3.70（–0.06~7.46）	0.050	64	0.09
TG	干预周期	≥ 12 周	5	71	–0.31（–0.51~–0.11）	0.002	15	0.32
		<12 周	2	14	–0.22（–0.34~–0.10）	0.000 4	0	1.00
	训练频率	3 次 / 周	4	55	–0.37（–0.61~–0.12）	0.003	26	0.26
		4 次 / 周	2	14	–0.22（–0.34~–0.10）	0.000 4	0	1.00
		5 次 / 周	1	16	–0.19（–0.54~0.16）	0.280		
	单次干预时长	>60 min	2	14	–0.22（–0.34~–0.10）	0.000 4	0	1.00
		60 min	4	55	–0.37（–0.61~–0.12）	0.003	26	0.26
		<60	1	16	–0.19（–0.54~0.16）	0.28		
	运动形式	跑步	4	55	–0.37（–0.61~–0.12）	0.003	26	0.26
		组合运动	3	30	–0.22（–0.33~–0.10）	0.000 2	0	0.99
HDL-C	干预周期	≥ 12 周	5	71	0.12（0.04~0.19）	0.002	15	0.32
		<12 周	2	14	0.18（0.09~0.26）	<0.001	0	0.91
	训练频率	3 次 / 周	4	55	0.12（0.03~0.21）	0.008	36	0.20
		4 次 / 周	2	14	0.18（0.09~0.26）	<0.001	0	0.91
		5 次 / 周	1	16	0.11（–0.03~0.25）	0.110		
	单次干预时长	>60 min	2	14	0.18（0.09~0.26）	<0.001	0	0.91
		60 min	4	55	0.12（0.03~0.21）	0.008	36	0.20
		<60	1	16	0.11（–0.03~0.25）	0.110		
	运动形式	跑步	4	55	0.12（0.03~0.21）	0.008	36	0.20
		组合运动	3	30	0.16（0.08~0.23）	<0.01	0	0.72
LDL-C	干预周期	≥ 12 周	4	56	–0.22（–0.47~0.03）	0.080	0	0.84
		<12 周	2	14	–0.29（–0.45~–0.13）	0.000 4	0	0.90
	训练频率	3 次 / 周	3	40	–0.28（–0.59~0.04）	0.080	0	0.77
		4 次 / 周	2	14	–0.29（–0.45~–0.13）	0.000 4	0	0.90
		5 次 / 周	1	16	–0.13（–0.53~0.27）	0.530		
	单次干预时长	>60 min	2	14	–0.29（–0.45~–0.13）	0.000 4	0	0.90
		60 min	3	40	–0.28（–0.59~.04）	0.080	0	0.77
		<60	1	16	–0.13（–0.53~0.27）	0.530		
	运动形式	跑步	3	40	–0.28（–0.59~0.04）	0.080	0	0.77
		组合运动	3	30	–0.27（–0.40~–0.12）	0.000 4	0	0.77

注：BFR= 体脂百分比，WHR= 腰臀比，VO_{2max}= 最大摄氧量，TG= 三酰甘油，HDL-C= 高密度脂蛋白胆固醇，LDL-C= 低密度脂蛋白胆固醇。

已达到 42.0%[29]。肥胖及相关慢性疾病已成为全球重大公共卫生挑战。研究表明，运动能有效减少肥胖、降低全因及心血管疾病死亡率[30]。而 FATmax 强度运动作为一种新型的运动模式，被认为是靶向性更强的运动减脂强度设计模式[31]，其减脂减重效果已获多项研究证实[11，25]。在 FATmax 强度范围内进行系统运动可应用于超重或肥胖患者的体重管理、改善脂质分布、提高心肺耐力以及改善脂质代谢状况[26，32-33]。本文探讨了 FATmax 运动对超重或肥胖患者的身体成分、心肺耐力和脂质代谢的影响。结果表明，FATmax 运动能显著改善了 BMI、体脂率、最大氧摄取量和脂质代谢水平，为其实际应用提供了科学支持。

3.1 FATmax 强度运动对超重或肥胖患者身体成分的影响

Meta 分析结果显示，FATmax 强度运动显著改善了超重或肥胖患者的 BMI、BFR、WHR，亚组分析发现，当训练周期≥ 12 周、单次干预时长 60 min、运动形式为跑步时，对其改善效果最佳。在训练频率方面，3 次 / 周最适合改善 BMI，而 5 次 / 周则更利于改善 BFR 和 WHR。这些发现与世界卫生组织提出每周进行 150 min 的有氧运动，运动频率为 3~5 次 / 周，每次 30 min 以上的持续运动，运动方式选择跑步、骑行、跳绳等[34]的建议相符。据此，推荐超重或肥胖患者根据自身状况选择长周期、3~5 次 / 周的训练频率、单次干预时长为 60 min 的跑步（包括健步走、慢跑等）运动方式的 FATmax 强度运动干预方案。

超重或肥胖主要由体内脂肪过量积累引起，是心血管代谢问题的核心风险因素。而身体成分在心脑血管健康方面起着关键作用[35]。本研究结果表明，FATmax 强度运动能有效降低超重或肥胖患者的 BMI、BFR、WHR 值。谭思洁等[11]采用 FATmax 强度运动对 18 例肥胖男童进行的减肥训练证实，FATmax 运动可以使受试者 BMI、BFR 显著性降低。赵婉婷等[36]以 FATmax 相对应的心率作为靶心率，对 33 例肥胖的老年人进行为期 12 周的减重训练，结果表明 FATmax 强度运动能够提高受试者机体代谢脂肪的能力，从而使 BFR 下降，脂肪质量得到减少。此外，WHR 作为腹部肥胖的指标，与多种心脑血管疾病风险密切相关[37]。姜岩等[15]以 FATmax 强度运动对 25 例老年 2 型糖尿病合并肥胖患者进行为期 16 周的减肥训练，结果表明 FATmax 强度运动对于老年女性的 WHR 起到了明显的改善作用，对于降低与肥胖密切相关的糖尿病、高血压等发病率、提升生存质量具有重要意义。

3.2 FATmax 强度运动对超重或肥胖患者心肺耐力的影响

本研究采用 VO_{2max} 作为评价 FATmax 强度运动对心肺耐力影响的结局指标，Meta 分析显示，FATmax 强度运动显著提高了超重或肥胖患者的 VO_{2max}，且结局指标呈低异质性。经亚组分析发现，在干预周期≥ 12 周、训练频率为 5 次 / 周、单次干预时长小于 60 min、采用组合运动形式的条件下，FATmax 强度运动对 VO_{2max} 的提升效果最为显著。长周期系统的有氧运动对于 VO_{2max} 的改善效果已被多项研究证实。研究表明，峰值心率和外周血氧利用率的降低是超重和肥胖人群心肺耐力下降的潜在因素，且降低的速度会随肥胖程度的增加而加剧，这强调了坚持长期运动干预的必要性[38]。肖义然等[38]的研究支持了运动频率与心肺功能改善之间存在剂量效应，发现进行 >4 次 / 周以上的运动能显著提升 VO_{2max} 这与本研究结果一致，即进行 4~5 次 / 周或更多次运动锻炼能够显著增强心肺耐力。然而，过高的运动频率也可能增加运动损伤和疲劳的风险，需根据患者的具体情况适度调整。此外，本研究结果显示 <60 min 的训练会对 VO_{2max} 改善产生最大效益。过长的运动时间会使心血管的反应变化能力下降[39]，对心血管产生消极影响，从而影响心肺功能。在运动形式方面，本研究发现组合运动（即多种运动方式的结合）能够更好地改善超重或肥胖患者的 VO_{2max}，这可能是因为不同运动方式的结合能够更全面地刺激身体各个部位和肌肉群，从而提高整体的心肺耐力水平。

目前心血管病是中国居民死亡的主要原因，其死亡率已超过肿瘤和其他疾病[40]。VO_{2max} 作为评估心肺适能（CRF）的金标准，是心血管代谢疾病的有效预测指标[35]。本研究表明，FATmax 强度运动可显著提高超重或肥胖患者的 VO_{2max}，这与江唐军等[35]的 Meta 分析结果一致。超重或肥胖会显著影响心肺功能，表现为血清同型半胱氨酸水平升高及内脏脂肪增多导致的血管内皮功能下降，这些因素共同增加了心脑血管疾病的风险。此外，中心腹部区域的脂肪囤积压缩腹腔，缩小腔内容积，使膈肌上升，进而降低呼吸深度，影响心肺功能[26]。FATmax 强度运动通过增加血液中游离脂肪酸的数量，使脂肪充分氧化，血流通畅度增加，血管中堆积的脂肪得到有效分解，使组织供氧更加充分，其介导的关联效果如调动和提高血液循环系统之间的协调配合能力等，提高了 VO_{2max}，达到了改善心肺功能的作用。此外，长期规律的有氧运动可使脂肪氧化酶活性增强、骨骼肌脂滴包被蛋白、激素敏感性脂肪酶、脂肪甘油三酯酶水平上调。这一些列的综合机制使 FAT-MFO 随着运动干预的实施向右迁移，实现了心肺功能的改善[26]。

3.3 FATmax 强度运动对超重或肥胖患者脂质代谢的影响

TG、TC 和 HDL-C、LDL-C 是反映血脂变化的重要指标。本文 Meta 分析结果显示，经过 FATmax 强

度运动干预后，超重或肥胖患者的 TG、LDL-C 值降低，HDL-C 值提高，而对 TC 值改变并无统计学意义（P>0.05）。进一步亚组分析结果显示，当干预周期达到或超过 12 周、训练频率为每周 3 次、单次干预时长为 60 min、且运动形式为跑步时，对 TG 的改善效果最佳。而对于 HDL-C 和 LDL-C 的改善，较短的干预周期（<12 周）、每周 4 次的训练频率，以及组合运动形式似乎更为有效。这些发现为制定个性化的运动干预方案提供了有益的参考。

本研究结果表明≥ 12 周的 FATmax 强度运动对血清中 TG 有显著改善作用，这与以往多项研究结果一致[41-42]。谭思洁等[43]报道在非酒精性脂肪肝的中年女性患者者中，经过 24 周的 FATmax 强度运动的训练，TG 降低了 21%。此外，TOKMAKIDIS 等[44]研究结果表明，冠心病患者经抗阻联合有氧训练 8 个月后，TG 降低了 18.6%，停训 12 周后，TG 又增加了 16.1%。血浆中的 TG 水平的降低可能源于长期进行中低强度耐力运动导致内源性合成下降，循环清除率升高或两者之间共同作用的结果[45]。因此，长期持续的中低强度耐力运动有利于血浆 TG 水平的降低。国内外关于长期耐力运动对 TC 影响研究报道不一。MOUSAVI 等[46]针对 20 名成年吸烟男性以 55%~70% 最大心率为期 8 周有氧运动进行干预，结果表明，8 周运动干预后，血浆 TC 水平明显降低。然而高洪等[47]对经常参与耐力性运动的中老年人血脂代谢进行了分析，结果显示长跑组 TC 水平与对照组相比无显著性差异，这与本文研究结果一致。这可能与训练方案和受试者性别有关。HDL-C 因其可与血清胆固醇相结合，防治其进入组织细胞造成脂肪堆积并且且还能将胆固醇通过血液循环运送至肝脏进行分解供能，从而降低心血管疾病的发生率，常被称作“好胆固醇”[48-49]。本研究结果显示 FATmax 强度运动可显著提高血浆 HDL-C 的水平，且干预周期 <12 周、训练频率 4 次 / 周，单次干预时长 60 min 时干预效果最好。黄亚茹等[50]采用 4 周运动配合饮食控制观察其对肥胖青少年身体成分、血脂的影响，发现 4 周运动可以明显降低肥胖青少年的体重、体脂肪、瘦体重、TC、LDL-C，提高 HDL-C；汲智勇等[51]采用 7 周有氧运动观察其对高脂膳食大鼠体脂和血脂的影响，发现 7 周的有氧运动可以使高脂血症大鼠血清 TC、TG、LDL-C 含量明显下降，HDL-C 含量明显升高。这与以往长期有氧运动对 HDL-C 影响的报道并不一致，这可能是由于具体运动干预方案的实施及受试者的选取不同所导致的。此外，并非训练频率越多、单次干预时长越长越好，过于频繁的周训练次数和过长的训练时长可能会导致受试者机体疲劳，从而导致训练质量不佳。运动改善血浆 HDL-C 的机制之一可能是长时间中低强度有氧运动导致了 apoAI 基因表达的增加，使血浆中 HDL-C 浓度增高，从而使其结合胆固醇的能力增加[45]。LDL-C 是血浆中含量最多的一种载脂蛋白，研究表明 LDL-C 与心血管疾病的发生有密切关系，其浓度与血脂水平呈递增关系[52]。久坐人群由于长期体力活动不足使得 LDL 受体活性下降，造成 LDL-C 浓度升高。董宏等[53]对 240 例久坐少动中年女性进行为期 3 个月不同剂量的运动干预试验的研究结果表明 60 min 的中等强度锻炼可以使 LDL-C 值降低 0.44mmol/L，而 30 分钟的中等强度锻炼虽然也能降低 0.17mmol/L，虽然这种降低不具有统计学意义（P>0.05），这与本文研究结果相似，提示长时间的训练是引起 LDL-C 受体活性升高从而降低 LDL-C 浓度下降的主要原因。综上，FATmax 强度运动能显著改善超重或肥胖人群中的 TG 水平，并在一定程度上影响 TC 和 HDL-C，强调了持续中低强度运动对改善血脂代谢的重要性。

4　总结与展望

FATmax 强度运动可显著改善超重肥胖患者 BMI、BFR、WHR、VO_{2max}、TG、HDL-C、LDL-C 结局指标，但对 TC 并无改善作用。经亚组分析得出最佳干预方案为：干预周期≥ 12 周，3~5 次 / 周的训练，每次 60 min 跑步的，以优化身体成分；而提升 VO_{2max} 的最佳方案为 5 次 / 周、每次 <60 min 的组合运动。在脂质代谢方面，对 TG 的改善最佳方案为每周 3 次、每次 60 min 的跑步；而对 HDL-C 的最佳改善效果出现在 4 次 / 周、每次 60 min 的组合运动；对 LDL-C 的最佳改善效果则是 4 次 / 周、每次 >60 min 的组合运动。

本研究存在的主要局限性包括：纳入的文献数量有限；部分文献质量较低；多数研究样本量小，其结局指标可能受到发表偏倚的影响；部分亚组分析的研究数量不足，影响了结果的可靠性和有效性。未来需进行更多高质量的研究以补充和验证现有结果。此外，目前关于 FATmax 强度运动对超重或肥胖患者身体成分、心肺耐力、脂质代谢影响的研究较少，且 FATmax 强度的测定方法尚未统一。建议在未来研究中，应制定统一的 FATmax 强度测定标准，以提升研究的质量和可靠性，从而为超重或肥胖患者制定科学的减脂减重运动处方提供更有效的参考。

作者贡献：卢冬磊负责数据收集整理、选题、文章撰写，对整体文章负责；谭思洁负责数据收集整理、论文评估；杨风英负责论文思路、框架的把握。

本文无利益冲突。

参考文献

[1] 陈伟，江华 . 2016 年中国超重 / 肥胖医学营养治疗专家共识解

读［J］. 中国实用内科杂志，2017，37（5）：430-433. DOI：10.19538/j.nk2017050117.
［2］冷正清，阿力木江·依米提·塔尔肯. 中国 2014—2020 年 7 ~ 12 岁儿童生长趋势及超重肥胖状况分析［J］. 中国全科医学，2024，27（1）：36-44，58. DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0203.
［3］王茹，曹乾，辛怡，等. 中国成年人中心性肥胖患病情况及其影响因素分析［J］. 中国公共卫生，2020，36（4）：584-587. DOI：10.11847/zgggws1125389.
［4］MYERS J，KOKKINOS P，NYELIN E. Physical activity，cardiorespiratory fitness，and the metabolic syndrome［J］. Nutrients，2019，11（7）：1652. DOI：10.3390/nu11071652.
［5］HAWWASH N K，SPERRIN M，MARTIN G P，et al. Overweight-years and cancer risk：a prospective study of the association and comparison of predictive performance with body mass index（Atherosclerosis Risk in Communities Study）［J］. Int J Cancer，2024，154（9）：1556-1568. DOI：10.1002/ijc.34821.
［6］GBD DIABETES COLLABORATORS. Global，regional，and national burden of diabetes from 1990 to 2021，with projections of prevalence to 2050：a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021［J］. Lancet，2023，402（10397）：203-234. DOI：10.1016/S0140-6736(23)01301-6.
［7］TUTOR A W，LAVIE C J，KACHUR S，et al. Updates on obesity and the obesity paradox in cardiovascular diseases［J］. Prog Cardiovasc Dis，2023，78：2-10. DOI：10.1016/j.pcad.2022.11.013.
［8］CORTES-TELLES A，ORTIZ-FARIAS D L，POU-AGUILAR Y N，et al. Clinical impact of obesity on respiratory diseases：a real-life study［J］. Lung India，2021，38（4）：321-325. DOI：10.4103/lungindia.lungindia_701_20.
［9］BRAY G A，KIM K K，WILDING J P H，et al. Obesity：a chronic relapsing progressive disease process. A position statement of the World Obesity Federation［J］. Obes Rev，2017，18（7）：715-723. DOI：10.1111/obr.12551.
［10］TREMMEL M，GERDTHAM U G，NILSSON P M，et al. Economic burden of obesity：a systematic literature review［J］. Int J Environ Res Public Health，2017，14（4）：435. DOI：10.3390/ijerph14040435.
［11］谭思洁，郭振，曹立全，等. 9~10 岁肥胖男童最大脂肪氧化强度运动减重处方的研究［J］. 体育科学，2016，36（9）：36-39，53. DOI：10.16469/j.css.201609005.
［12］CHÁVEZ-GUEVARA I A，URQUIDEZ-ROMERO R，PÉREZ-LEÓN J A，et al. Chronic effect of fatmax training on body weight，fat mass，and cardiorespiratory fitness in obese subjects：a meta-analysis of randomized clinical trials［J］. Int J Environ Res Public Health，2020，17（21）：7888. DOI：10.3390/ijerph17217888.
［13］CAO L Q，JIANG Y，LI Q W，et al. Exercise training at maximal fat oxidation intensity for overweight or obese older women：a randomized study［J］. J Sports Sci Med，2019，18（3）：413-418.
［14］ELLOUMI M，BEN OUNIS O，MAKNI E，et al. Effect of individualized weight-loss programmes on adiponectin，leptin and resistin levels in obese adolescent boys［J］. Acta Paediatr，2009，98（9）：1487-1493. DOI：10.1111/j.1651-2227.2009.01365.x.
［15］JIANG Y，TAN S J，WANG Z Y，et al. Aerobic exercise training at maximal fat oxidation intensity improves body composition，glycemic control，and physical capacity in older people with type 2 diabetes［J］. J Exerc Sci Fit，2020，18（1）：7-13. DOI：10.1016/j.jesf.2019.08.003.
［16］BEN OUNIS O，ELLOUMI M，AMRI M，et al. Impact of diet，exercise end diet combined with exercise programs on plasma lipoprotein and adiponectin levels in obese girls［J］. J Sports Sci Med，2008，7（4）：437-445.
［17］BEN OUNIS O，ELLOUMI M，BEN CHIEKH I，et al. Effects of two-month physical-endurance and diet-restriction programmes on lipid profiles and insulin resistance in obese adolescent boys［J］. Diabetes Metab，2008，34（6 Pt 1）：595-600. DOI：10.1016/j.diabet.2008.05.011.
［18］PICÓ-SIRVENT I，MANRESA-ROCAMORA A，ARACIL-MARCO A，et al. A combination of aerobic exercise at fatmax and low resistance training increases fat oxidation and maintains muscle mass，in women waiting for bariatric surgery［J］. Obes Surg，2022，32（4）：1130-1140. DOI：10.1007/s11695-022-05897-1.
［19］TAN S J，WANG X，WANG J X. Effects of supervised exercise training at the intensity of maximal fat oxidation in overweight young women［J］. J Exerc Sci Fit，2012，10（2）：64-69. DOI：10.1016/j.jesf.2012.10.002.
［20］TAN S J，WANG J X，CAO L Q，et al. Positive effect of exercise training at maximal fat oxidation intensity on body composition and lipid metabolism in overweight middle-aged women［J］. Clin Physiol Funct Imaging，2016，36（3）：225-230. DOI：10.1111/cpf.12217.
［21］TAN S J，WANG J X，CAO L Q. Exercise training at the intensity of maximal fat oxidation in obese boys［J］. Appl Physiol Nutr Metab，2016，41（1）：49-54. DOI：10.1139/apnm-2015-0174.
［22］TAN S J，DU P，ZHAO W T，et al. Exercise training at maximal fat oxidation intensity for older women with type 2 diabetes［J］. Int J Sports Med，2018，39（5）：374-381. DOI：10.1055/a-0573-1509.
［23］YANG R Q，WAN L，ZHU H，et al. The effect of 12 week-maximum fat oxidation intensity（FATmax）exercise on microvascular function in obese patients with nonalcoholic fatty liver disease and its mechanism［J］. Gen Physiol Biophys，2023，42（3）：251-262. DOI：10.4149/gpb_2023004.
［24］ZENG J，PENG L，ZHAO Q，et al. Effects over 12 weeks of different types and durations of exercise intervention on body composition of young women with obesity［J］. Sci Phys，2021，36（1）：45-52. DOI：10.1016/j.scispo.2019.10.011.
［25］肖哲，朱欢，胡江平，等. 10 周有氧运动和有氧结合抗阻运动对肥胖大学生微循环功能的影响及机制研究［J］. 中国全科医学，2022，25（19）：2349-2355，2362. DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2022.0118.
［26］郭振，谭思洁. 持续 12 周运动减重方案对青年男性肥胖者心肺机能影响的研究［J］. 天津体育学院学报，2021，36（4）：490-496. DOI：10.13297/j.cnki.issn1005-0000.2021.04.018.
［27］陈乐琴. 16 周有氧健身操运动干预对超重女大学生脂肪氧化动力学影响研究［J］. 沈阳体育学院学报，2018，37（5）：87-

91. DOI：10.3969/j.issn.1004-0560.2018.05.015.
[28] 黄传业，潘明玲，章岚，等. 最大脂肪氧化强度运动对超重/肥胖青年男子动脉硬度的影响[J]. 中国运动医学杂志，2018，37（1）：3-9. DOI：10.16038/j.1000-6710.2018.01.001.
[29] 郝丽鑫，张兵，王惠君，等. 1989—2018 年我国 15 个省（自治区、直辖市）18 ~ 35 岁成年人超重和肥胖变化趋势及流行特征[J]. 环境与职业医学，2022，39（5）：471-477. DOI：10.11836/JEOM21386.
[30] LUAN X，TIAN X Y，ZHANG H X，et al. Exercise as a prescription for patients with various diseases[J]. J Sport Health Sci，2019，8（5）：422-441. DOI：10.1016/j.jshs.2019.04.002.
[31] JEUKENDRUP A，ACHTEN J. Fatmax：a new concept to optimize fat oxidation during exercise?[J]. Eur J Sport Sci，2001，1（5）：1-5. DOI：10.1080/17461390100071507.
[32] 李盈盈，黄丽，彭莉. 肥胖女大学生最大脂肪氧化强度研究[J]. 中国学校卫生，2021，42（9）：1407-1410，1414. DOI：10.16835/j.cnki.1000-9817.2021.09.032.
[33] 彭永，朱欢，杨梅，等. 12 周 FATmax 强度运动对肥胖型非酒精性脂肪肝患者血糖血脂及肝功能的影响[J]. 基因组学与应用生物学，2022，41（3）：648-658. DOI：10.13417/j.gab.041.000648.
[34] DIPIETRO L，AL-ANSARI S S，BIDDLE S J H，et al. Advancing the global physical activity agenda：recommendations for future research by the 2020 WHO physical activity and sedentary behavior guidelines development group[J]. Int J Behav Nutr Phys Act，2020，17（1）：143. DOI：10.1186/s12966-020-01042-2.
[35] 江唐军，伍晓艳，陶芳标. 运动干预对青少年心血管代谢健康保护作用的 Meta 分析[J]. 现代预防医学，2023，50（19）：3525-3533. DOI：10.20043/j.cnki.MPM.202212195.
[36] 赵婉婷，刘洵，庞家祺，等. FATmax 运动对肥胖老年人体质及心血管机能影响的研究[J]. 体育科学，2016，36（12）：48-52，76. DOI：10.16469/j.css.201612006.
[37] COSTACHE A D，IGNAT B E，GROSU C，et al. Inflammatory pathways in overweight and obese persons as a potential mechanism for cognitive impairment and earlier onset alzeihmer's dementia in the general population：a narrative review[J]. Biomedicines，2023，11（12）：3233. DOI：10.3390/biomedicines11123233.
[38] 肖义然，张蓝天，邱俊强，等. 运动改善老年人心肺功能存在剂量效应的系统综述与 Meta 分析[J]. 中国体育科技，2022，58（7）：48-59. DOI：10.16470/j.csst.2021102.
[39] GRAZIANO F，JUHASZ V，BRUNETTI G，et al. May strenuous endurance sports activity damage the cardiovascular system of healthy athletes? A narrative review[J]. J Cardiovasc Dev Dis，2022，9（10）：347. DOI：10.3390/jcdd9100347.
[40] 陈伟伟，高润霖，刘力生，等.《中国心血管病报告 2016》概要[J]. 中国循环杂志，2017，32（6）：521-530.
[41] 高思垚，吕万刚，聂应军. 不同运动方式对中国超重或肥胖人群代谢指标影响的元分析[J]. 中国体育科技，2021，57（10）：46-54，69. DOI：10.16470/j.csst.2020019.
[42] 李嘉豪，李佳锦，陶宽，等. 健步走对中老年人血脂代谢影响的 Meta 分析[J]. 中国运动医学杂志，2022，41（12）：983-992. DOI：10.16038/j.1000-6710.2022.12.006.
[43] 谭思洁，徐冬青，曹立全，等. FATmax 运动干预中年女性非酒精性脂肪肝的研究[J]. 天津体育学院学报，2015，30（3）：185-189. DOI：10.13297/j.cnki.issn1005-0000.2015.03.001.
[44] TOKMAKIDIS S P，VOLAKLIS K A. Training and detraining effects of a combined-strength and aerobic exercise program on blood lipids in patients with coronary artery disease[J]. J Cardiopulm Rehabil，2003，23（3）：193-200. DOI：10.1097/00008483-200305000-00006.
[45] 叶国鸿，汪正毅，许建生，等. 运动与血脂的研究进展[J]. 北京体育大学学报，2004，27（7）：933-935. DOI：10.3969/j.issn.1007-3612.2004.07.024.
[46] MOUSAVI S M，HEIDARIANPOUR A，TAVASSOLI H. Aerobic exercise training effects on omentin-1，insulin resistance，and lipid profile among male smokers[J]. Res Q Exerc Sport，2023，94（3）：880-885. DOI：10.1080/02701367.2022.2070116.
[47] 高洪，刘伟长. 健身长跑对中老年人血脂代谢的影响[J]. 辽宁师范大学学报：自然科学版，2003，26（3）：295-296. DOI：10.3969/j.issn.1000-1735.2003.03.020.
[48] XIANG Y，LIANG B，ZHANG X K，et al. Lower HDL-C levels are associated with higher expressions of CD16 on monocyte subsets in coronary atherosclerosis[J]. Int J Med Sci，2020，17（14）：2171-2179. DOI：10.7150/ijms.47998.
[49] 刘善云，王丽，何玉秀. 有氧运动和抗阻练习对中老年女性血脂异常患者血脂、超敏C反应蛋白和免疫球蛋白的干预作用[J]. 中国运动医学杂志，2008，27（1）：84-87. DOI：10.16038/j.1000-6710.2008.01.002.
[50] 黄亚茹，纪环，葛小川，等. 4 周运动配合饮食控制对肥胖青少年体成分、血脂的影响及相关调控机理[J]. 中国体育科技，2013，49（1）：46-51. DOI：10.16470/j.csst.2013.01.008.
[51] 汲智勇，杜晓平，符谦. 七周有氧运动对高脂膳食大鼠体脂和血脂的影响[J]. 沈阳体育学院学报，2010，29（4）：69-73. DOI：10.3969/j.issn.1004-0560.2010.04.017.
[52] 诸骏仁，高润霖，赵水平，等. 中国成人血脂异常防治指南（2016 年修订版）[J]. 中国循环杂志，2016，31（10）：937-953.
[53] 董宏，王荣辉，戴俊. 不同剂量运动对静坐少动中年女性心血管健康的影响[J]. 北京体育大学学报，2018，41（2）：65-72. DOI：10.19582/j.cnki.11-3785/g8.2018.02.010.

（收稿日期：2024-03-20；修回日期：2024-05-25）
（本文编辑：赵跃翠）